

Классификация и маркировка сталей и чугунов

- Сталь – основной металлический материал, применяемый для изготовления всех видов конструкций в различных областях техники.
- Сочетают высокую жёсткость с достаточной статической и циклической прочностью.
- Параметры меняются за счет изменения концентрации углерода, легирующих элементов и технологий термической и химико-термической обработки.

Классификация

По химическому составу конструкционные стали подразделяются на:

углеродистые

легированные

низколегированные (содержат не более 2,5% легирующих элементов)

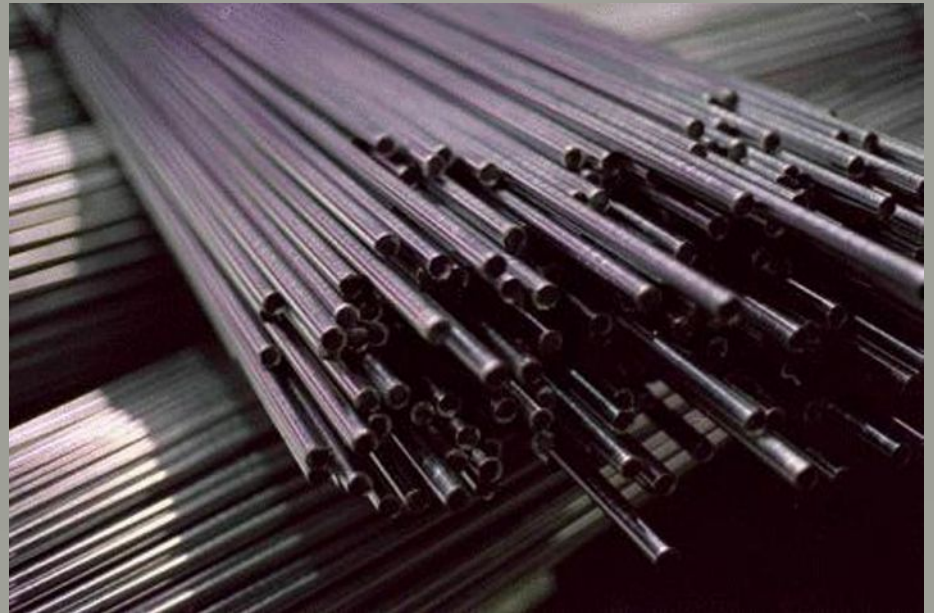
среднелегированные (содержат от 2,5 до 10% легирующих элементов)

высоколегированные (содержат более 10% легирующих элементов)

Углеродистые стали составляют 85% производства
Легированные – 15%

сталей

- По химическому составу
- По назначению
- По качеству
- По степени раскисления



Классификация стали

1. По химическому составу



Углеродистые

- малоуглеродистые, т. е. содержащими углерода менее 0,25%;*
- среднеуглеродистые, содержание углерода составляет 0,25-0,60%*
- высокоуглеродистые, в которых концентрация углерода превышает 0,60%*

Легированные стали

- низколегированные* содержание легирующих элементов до 2,5%
- среднелегированные*, в их состав входят от 2,5 до 10% легирующих элементов;
- высоколегированные*, которые содержат свыше 10% легирующих элементов.

2. По назначению стали делятся на

- a) *конструкционные, предназначенные для изготовления строительных и машиностроительных изделий (цементируемые, улучшаемые, высокопрочные, рессорно-пружинные)*
- b) *инструментальные, из которых изготовляют режущий, мерительный, штамповый и прочие инструменты. Эти стали содержат более 0,65% углерода.*
- c) *с особыми физическими свойствами, например, с определенными магнитными характеристиками или малым коэффициентом линейного расширения: электротехническая сталь, суперинвар.*
- d) *с особыми химическими свойствами, например, нержавеющие, жаростойкие или жаропрочные стали.*

3. По качеству стали подразделяются в зависимости от содержания в них вредных примесей (серы и фосфора)

- 1) Стали обыкновенного качества, содержание до 0,06% серы и до 0,07% фосфора.
- 2) Качественные - до 0,035% серы и фосфора каждого отдельно.
- 3) Высококачественные - до 0,025% серы и фосфора.
- 4) Особовысококачественные, до 0,025% фосфора и до 0,015% серы.

Качество стали также зависит от содержания газов – кислорода, водорода, азота

4. По степени раскисления, т.е. по степени удаления кислорода из стали и характеру затвердевания

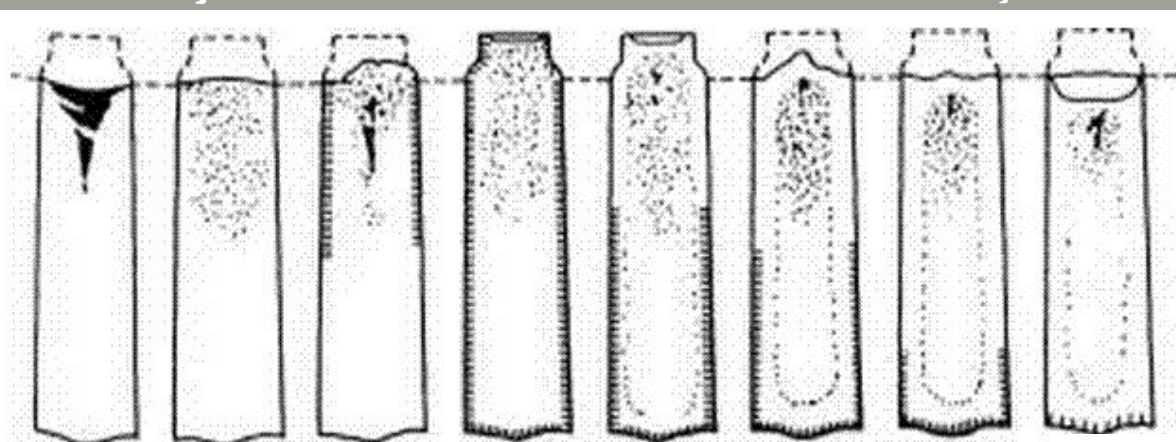
Раскисление – процесс удаления из жидкого металла кислорода, проводимый с целью предотвращения хрупкого разрушения стали при горячей деформации

- 1) спокойные стали, т. е. полностью раскисленные; такие стали обозначаются буквами “сп” в конце марки (иногда буквы опускаются) – раскисляют марганцем, кремнием и алюминием (FeMn, FeSi, Al или Ti)
- 2) кипящие стали - слабо раскисленные; маркируются буквами "кп «, раскисляют марганцем (FeMn);
- 3) полуспокойные стали, (FeMn и Al) занимающие промежуточное положение между двумя предыдущими; промежуточное положение между двумя предыдущими; обозначаются буквами "пс".

Спокойные (сп)
Полуспокойные (пс)
Кипящие (кп)

Степень раскисления

- *спокойные стали*, обозначаются буквами "сп" в конце марки (иногда буквы опускаются);
- *кипящие стали* - маркируются буквами "кп";
- *полуспокойные стали* обозначаются буквами "пс".

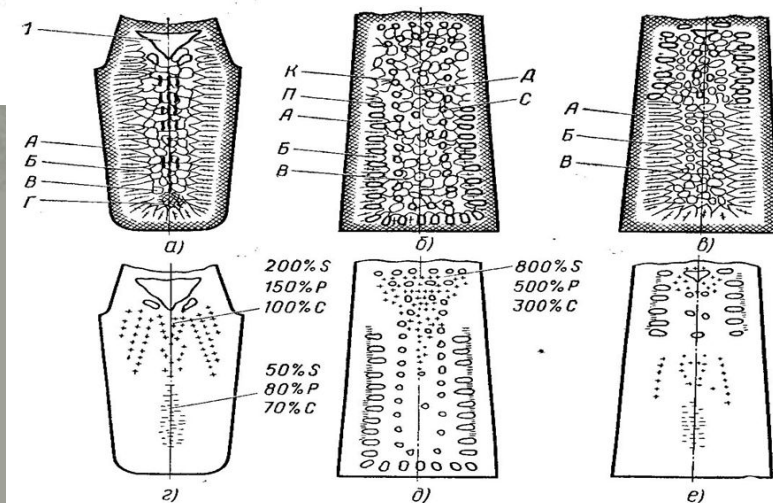


Спокойная
Полуспокойная

Capped steel

Кипящая

Строение стальных слитков различных способов раскисления



Влияние постоянных примесей на углеродистые стали

- Содержание железа в стали в зависимости от производства составляет 97,0 – 99,5%
- В стали присутствуют:
 - Углерод – до 2,14%
 - Постоянные примеси – кремний (до 0,8%), марганец (до 0,37%), сера (0,06%), фосфор (0,07%)
 - Скрытые примеси – газы (азот, кислород, водород)
 - Специальные примеси (*легирующие* элементы, которые вводят для изменения свойств стали в заданном направлении)
 - Случайные примеси (хром, медь)

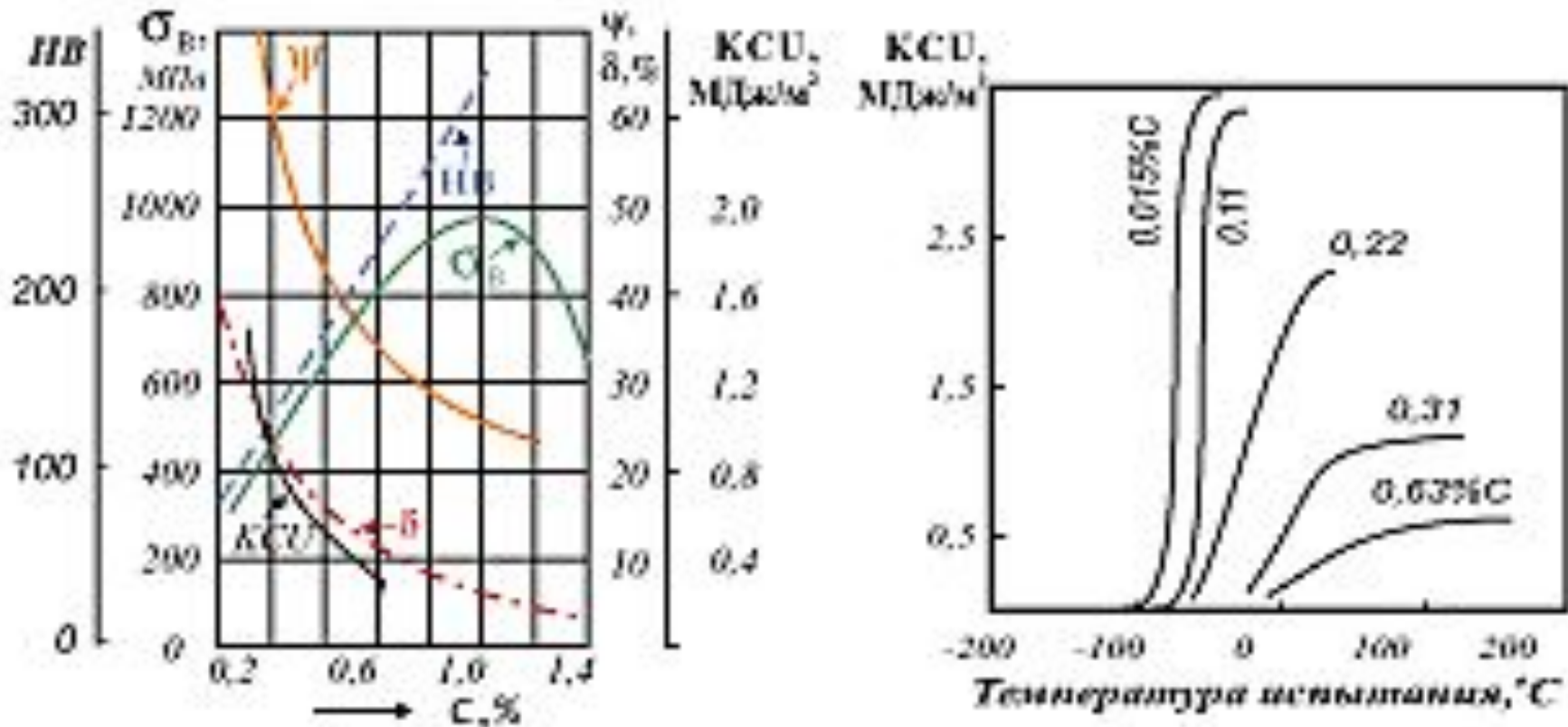
Влияние углерода на сталь

- Низкоуглеродистые стали мягкие, пластичные, хорошо деформируемые
- Среднеуглеродистые прочны при небольшой пластичности и вязкости – конструкционные материалы для силовых нагрузок
- Высокоуглеродистые – штампово-инструментальное производство

Влияние углерода на свойства стали

- Увеличение количества углерода приводит к изменению структуры металла: росту зерен цементита и уменьшению феррита
- Прочность повышается до содержания углерода около 1%, а затем она уменьшается, так как образуется грубая сетка цементита вторичного.
 - Уменьшение пластичности
 - Увеличение твердости
 - Повышение прочности
 - Повышение порога хладоломкости
 - Снижение ударной вязкости
 - Повышение электросопротивления
 - Повышение коэрцитивной силы
 - Снижается магнитная проницаемость
 - Ухудшаются литейные свойства (используются стали с содержанием С до 0,4%), свариваемость, обработка давлением и резанием.

Влияние углерода на свойства стали



σ – предел прочности

ψ – относительное сужение после разрыва

δ – относительное удлинение после разрыва

НВ – твердость

КСУ – хладоломкость

Влияние примесей

Технологические примеси – марганец и кремний

- Марганец в виде оксида MnO_2 (пиролюзит) увеличивают продольную упругость (модуль Юнга) повышает прочность, не снижая пластичности, снижает красноломкость
- Кремний в виде SiO_2 дегазирует металл и повышает плотность слитка, увеличивает прочность, но снижает пластичность, увеличивает предел текучести
- Содержатся в количестве 0,3-0,8% Mn, 0,17-0,37% Si

Влияние примесей

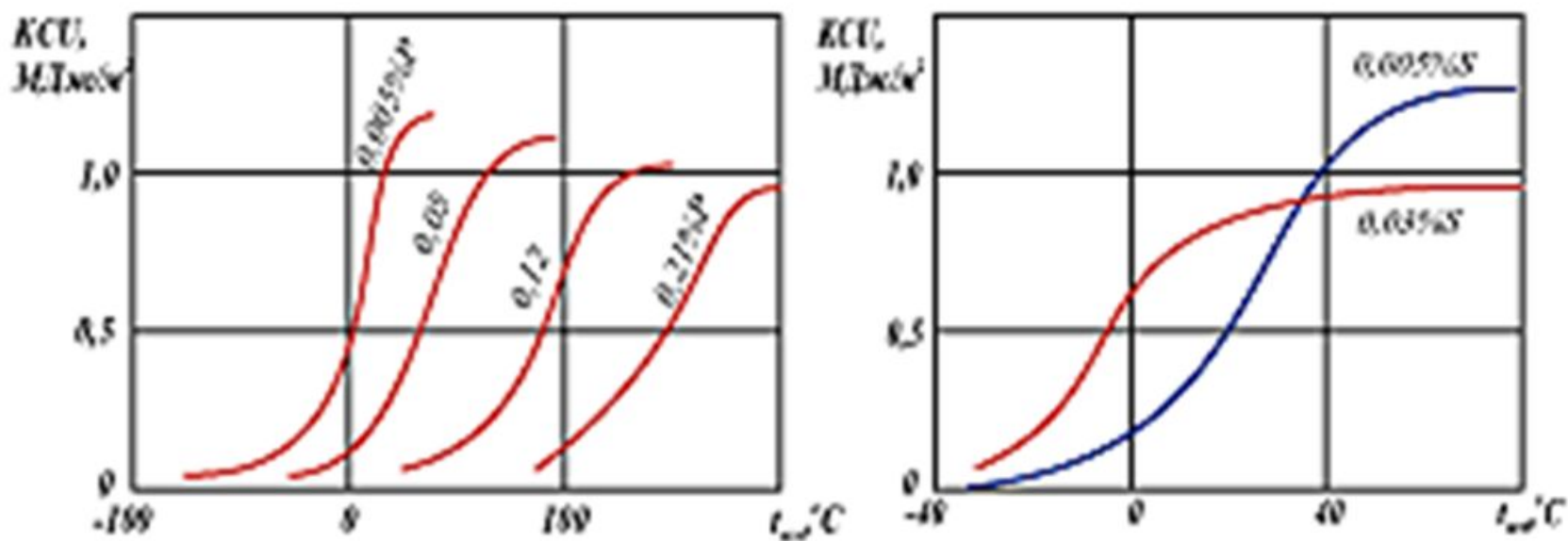
Вредные примеси – фосфор и сера

- Фосфор – охрупчивает сталь, вызывает хладоломкость
- Сера - уменьшает пластичность, свариваемость и коррозионную стойкость, придает красноломкость (ухудшается обработка стали в горячем состоянии)

Красноломкость – повышение хрупкости при высоких температурах за счет образования сульфида серы FeS с низкой температурой плавления 988 С

Влияние примесей

Влияние примесей на свойства стали



Сталь содержит 0,2%С и 1%Mn

Влияние примесей

Скрытые примеси

- Кислород снижает прочность и пластичность
- Азот – понижает предел выносливости и вязкости
- Водород – образует флокены (микроскопические трещины)
- Флокены – тонкие трещины овальной или округлой формы, имеющие в изломе вид хлопьев серебристого цвета

Маркировка стали

1. Стали обыкновенного качества

обозначают буквами "Ст" и условным номером марки (от 0 до 6) в зависимости от химического состава и механических свойств. Чем выше содержание углерода и прочностные свойства стали, тем больше её номер.

Буква "Г" после номера марки указывает на повышенное содержание марганца в стали.

Перед маркой указывают группу стали, причем группа "А" в обозначении марки стали не ставится.

Для указания категории стали к обозначению марки добавляют номер в конце соответствующий категории, первую категорию обычно не указывают.

Стали обыкновенного качества

- Данные стали в процессе выплавки меньше очищаются от вредных примесей и содержат больше S и P, большое количество неметаллических включений, значительно развита ликвация. Содержание S до 0,05%; P до 0,04%.



Таблица № 1 Состав сталей и механические свойства сталей обыкновенного качества (ГОСТ 380-88)

Массовая доля				Механические свойства			
Марка стали	%C	%Si	%Mn	$\sigma_s, \text{Н/мм}^2$	$\sigma_{0.2}, \text{Н/мм}^2$	$\delta, \%$	KCU Дж/см ² (кгс·м/см ²)
Ст0	$\leq 0,23$	0,05	0,25-0,5	300		22	
Ст1 сп	0,06 – 0,12	0,15-0,30	0,25-0,5	305-380		34	
Ст3 кп	0,14 – 0,22	$\leq 0,07$	0,3-0,6	380-460	235	27	
Ст3пс	0,14 – 0,22	0,05-0,15	0,4-0,65	370-480	345	26	108 при -20 ⁰ С
Ст3сп	0,14 – 0,22	0,12-0,30	0,4-0,65	380-490	355	26	98 при -20 ⁰ С
Стбсп	0,38 – 0,49	0,15-0,35	0,5-0,8	590	315	15	

Группы стали

- а) сталь группы А поставляется потребителям по механическим свойствам (такая сталь может иметь повышенное содержание серы или фосфора), предназначена для изготовления изделий без горячей обработки;
- б) сталь группы Б - по химическому составу дляковки, сварка, термическая обработка, механические свойства не сохраняются;
- в) сталь группы В - с гарантированными механическими свойствами и химическим составом для производства ответственных сварных конструкций.

Группы	Гарантируемые свойства в состоянии поставки	Марки (с учётом степени раскисления)	Категории
А	Механические свойства	Ст0, Ст1кп, Ст1пс, Ст1сп, Ст2кп, Ст2пс, Ст2сп, Ст3кп, Ст3пс, Ст3сп, Ст3Гпс, Ст4кп, Ст4пс, Ст4сп, Ст5пс, Ст5сп, Ст5Гпс, Ст6пс, Ст6сп	1, 2, 3
Б	Химический состав	БСт0, БСт1кп, БСт1сп, БСт2кп, БСт2пс, БСт3кп, БСт3пс, БСт3сп, БСт3Гпс, БСт4кп, БСт4пс, БСт6пс, БСт6сп	1, 2
В	Механические свойства и химический состав	ВСт1кп, ВСт1пс, ВСт1сп, ВСт2кп, ВСт2пс, ВСт2сп, ВСт3кп, ВСт3пс, ВСт3сп, ВСт3Гпс, ВСт4кп, ВСт4пс, ВСт4сп, ВСт5пс, ВСт5сп	1, 2, 3, 4, 5, 6

Например:

Ст1кп2 - углеродистая сталь обыкновенного качества, кипящая, № марки 1, второй категории, поставляется потребителям по механическим свойствам (группа А);

ВСт5Г - углеродистая сталь обыкновенного качества с повышенным содержанием марганца, спокойная, № марки 5, первой категории с гарантированными механическими свойствами и химическим составом (группа В);

ВСт0 - углеродистая сталь обыкновенного качества, номер марки 0, группы Б, первой категории (стали марок Ст0 и Бст0 по степени раскисления не разделяют).

2. Качественные стали

1. В начале марки указывают содержание углерода цифрой, соответствующей его средней концентрации;
 - а) в сотых долях процента для сталей, содержащих до 0,65% углерода;
05кп – сталь углеродистая качественная, кипящая, содержит 0,05% С;
60 – сталь углеродистая качественная, спокойная, содержит 0,60% С;
 - б) в десятых долях процента для индустриальных сталей, которые дополнительно снабжаются буквой "У":
У7 – углеродистая инструментальная, качественная сталь, содержащая 0,7% С, спокойная (все инструментальные стали хорошо раскислены);
У12 - углеродистая инструментальная, качественная сталь, спокойная содержит 1,2% С;

2. Легирующие элементы, входящие в состав стали, обозначают русскими буквами:

А – азот **К** – кобальт **Т** – титан **Б** – ниобий
М – молибден **Ф** – ванадий **В** – вольфрам **Н** – никель
Х – хром **Г** – марганец **П** – фосфор **Ц** – цирконий
Д – медь **Р** – бор **Ю** – алюминий **Е** – селен
С – кремний **Ч** – редкоземельные металлы

Если после буквы, обозначающей легирующий элемент, стоит цифра, то она указывает содержание этого элемента в процентах. Если цифры нет, то сталь содержит 0,8-1,5% легирующего элемента, за исключением молибдена и ванадия (содержание которых в солях обычно до 0,2-0,3%), а также бора (в стали с буквой Р его должно быть не менее 0,0010%).

Примеры:

14Г2 – низко легированная качественная сталь, спокойная, содержит приблизительно 0,14% углерода и до 2,0% марганца.

03Х16Н15М3Б - высоко легированная качественная сталь, спокойная содержит 0,03% С, 16,0% Cr, 15,0% Ni, до 3,0% Mo, до 1,0%

Таблица № 2 Химический состав и механические свойства углеродистой качественной стали (ГОСТ 1050-88)

Марка	%С	$\sigma_{\text{в}} \text{ Н/мм}^2$	$\sigma_{\text{т}} \text{ Н/мм}^2$	$\delta_5 \%$	$\psi \%$	КСУ Дж/см ²
08кп	0,05-0,11	310 (32)	196 (20)	34	60	-
08ю	0,05-0,11	310	196	34	60	-
08	0,05-0,11	310	196	32	60	-
20	0,17-0,24	410	245	28	85	-
30	0,27-0,35	480	294	24	50	78
40	0,37-0,45	560	333	20	45	59
60	0,57-0,65	687	402	12	35	-
Рессорно-пружинные стали						
65	0,62-0,7	676	402	10	35	
70	0,67-0,75	715	421	9	30	
75	0,72-0,8	1078	941	7	30	
80	0,82-0,9	1128	980	6	30	

Высококачественные и особовысококачественные стали

Маркируют, так же как и качественные, но в конце марки высококачественной стали ставят букву А, (эта буква в середине марочного обозначения указывает на наличие азота, специально введённого в сталь), а после марки особовысококачественной - через тире букву "Ш".

Например:

У8А - углеродистая инструментальная высококачественная сталь, содержащая 0,8% углерода;

30ХГС-Ш – особовысококачественная среднелегированная сталь, содержащая 0,30% углерода и от 0,8 до 1,5% хрома, марганца и кремния каждого.

Отдельные группы сталей обозначают несколько иначе.

Шарикоподшипниковые стали маркируют буквами "ШХ", после которых указывают содержание хрома в десятых долях процента:

ШХ6 - шарикоподшипниковая сталь, содержащая 0,6% хрома;

ШХ15ГС - шарикоподшипниковая сталь, содержащая 1,5% хрома и от 0,8 до 1,5% марганца и кремния.

Быстрорежущие стали (сложнолегированные) обозначают буквой "Р", следующая за ней цифра указывает на процентное содержание в ней вольфрама:

Р18-быстрорежущая сталь, содержащая 18,0% вольфрама;

Р6М5К5-быстрорежущая сталь, содержащая 6,0% вольфрама 5,0% молибдена 5,0% кобальта.

Автоматные стали обозначают буквой "А" и цифрой, указывающей среднее содержание углерода в сотых долях процента:

А12 - автоматная сталь, содержащая 0,12% углерода (все автоматные стали имеют повышенное содержание серы и фосфора);

А40Г - автоматная сталь с 0,40% углерода и повышенным до 1,5% содержанием марганца.

Предназначены для обработки резанием

Чугуны

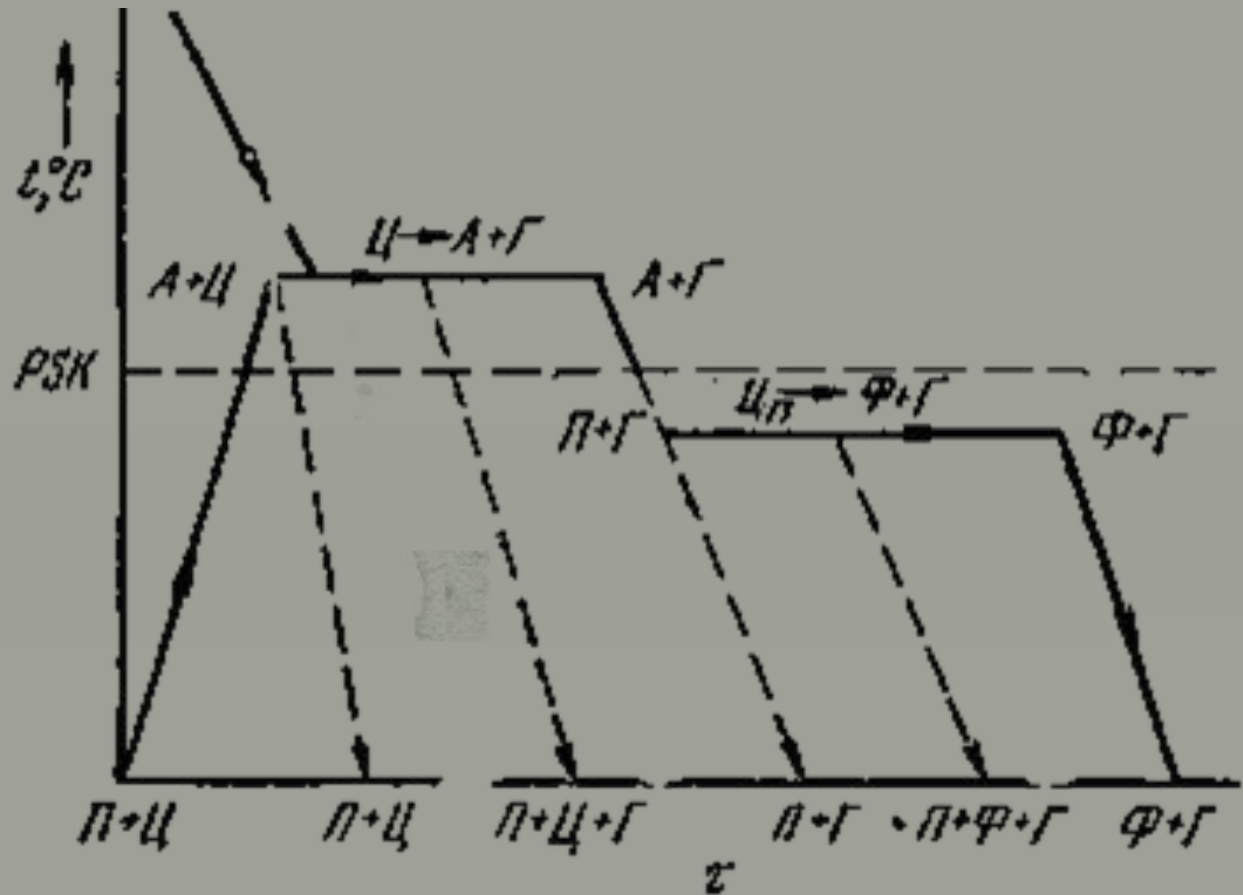
- Чугун – это железоуглеродистый сплав с содержанием углерода $>2,14\%$ и примесями в десятых долях процентов.
- В чугуне содержатся примеси в десятых долях : кремний, марганец, сера, фосфор и др.
- С целью улучшения свойств в чугуны могут вводиться легирующие элементы, такие как хром, никель, медь и др.
- Обладают пониженной температурой плавления и хорошими литейными свойствами.
- Широко применяются в машиностроении

Графитизация

Графитизация – образование графита из жидкой фазы происходит при медленном охлаждении и при разложении цементита.

Структура чугунов зависит от степени графитизации.

Чем выше содержание углерода, тем больше графита и ниже механические свойства. Углерода не должно быть больше, чем 3,8%



Влияние графита на механические свойства отливок.

- Графитовые включения можно рассматривать как соответствующей формы пустоты в структуре чугуна. Около таких дефектов при нагружении концентрируются напряжения, значение которых тем больше, чем острее дефект. Отсюда следует, что графитовые включения пластинчатой формы в максимальной мере разупрочняют металл.
- Более благоприятна хлопьевидная форма, а оптимальной является шаровидная форма графита.
- Пластичность зависит от формы таким же образом. Относительное удлинение (δ) для серых чугунов составляет 0,5 %, для ковких – до 10 %, для высокопрочных – до 15%.
- Наличие графита наиболее резко снижает сопротивление при жестких способах нагружения: удар; разрыв.
- Сопротивление сжатию снижается мало.

Положительные стороны наличия графита

- графит улучшает обрабатываемость резанием, так как образуется ломкая стружка;
- чугун имеет лучшие антифрикционные свойства, по сравнению со сталью, так как наличие графита обеспечивает дополнительную смазку поверхностей трения;
- из-за микропустот, заполненных графитом, чугун хорошо гасит вибрации и имеет повышенную циклическую вязкость;
- детали из чугуна не чувствительны к внешним концентраторам напряжений (выточки, отверстия, переходы в сечениях);
- чугун значительно дешевле стали;
- производство изделий из чугуна литьем дешевле изготовления изделий из стальных заготовок обработкой резанием, а также литьем и обработкой давлением с последующей механической обработкой.

Виды чугуна

Серый чугун

Белый чугун

Ковкий чугун

Высокопрочный
чугун

Вермикулярный
чугун

Классификация чугунов

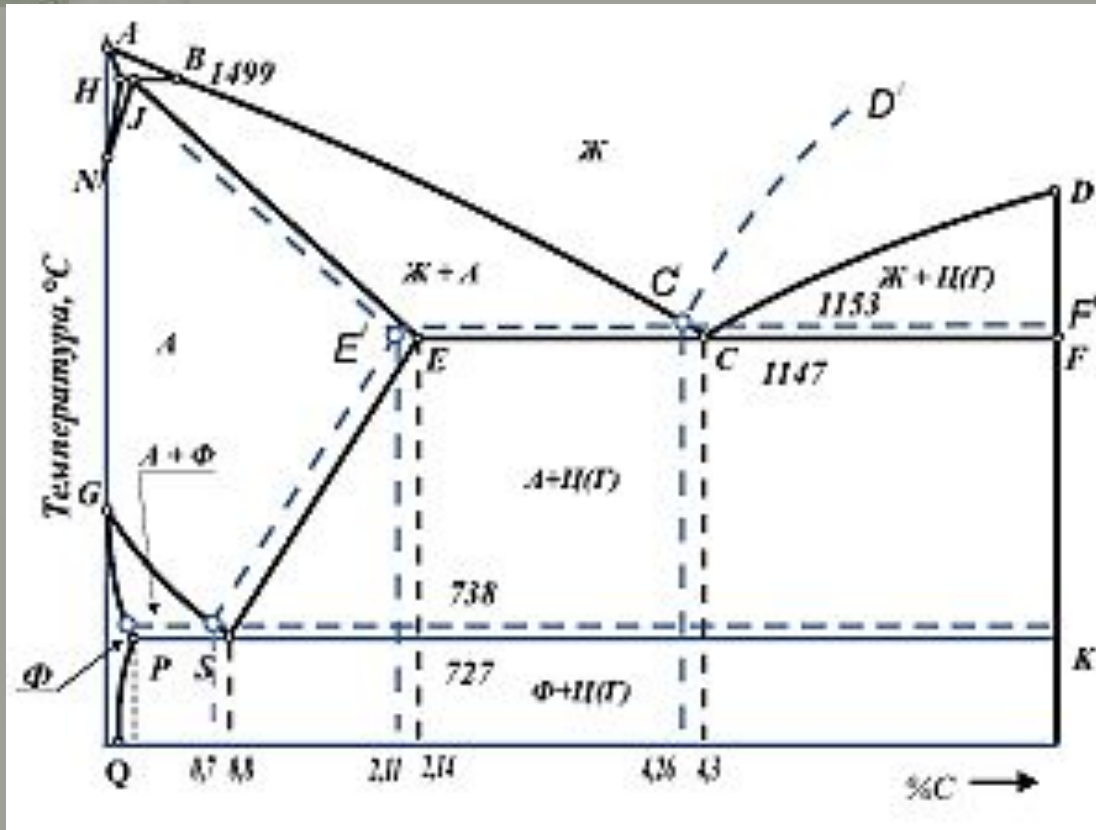
1. Белые чугуны
углерод связан в цементит
2. Серые чугуны
углерод находится в виде графита

Серые чугуны подразделяются:

- По форме включений графита
 - 1. серые
 - 2. ковкие
 - 3. высокопрочные
- По структуре металлургической основы
 - 1. перлитные ($C=0,8\%$)
 - 2. феррито-перлитные ($C<0,8\%$)
 - 3. ферритные ($C>0,8\%$)

Где C – содержание связанного углерода.

Остальной углерод находится в свободном состоянии в виде пластин или хлопьев



Белые чугуны

- Белыми называют чугуны, в которых весь углерод находится в связанном состоянии в виде цементита Fe_3C .

В зависимости от содержания углерода подразделяют на

- эвтектические ($C=4,3\%$);
- доэвтектические ($C=2,14 - 4,3\%$);
- заэвтектические ($C=4,3-6,67\%$)



Микроструктура белых чугунов



Белый чугун



- Маркировка
БЧ30

Цементит придает излому чугуна блеск, а графит - серый цвет. Поэтому чугун, в котором весь углерод находится в связанном состоянии, получил название **белого чугуна**.

Большая твердость из-за цементита и хрупкие. Для изготовления деталей машин не используются.

Белый чугун используется для получения ковкого чугуна с помощью графитизирующего отжига.

Стоек к истиранию, используется для валков прокатных станков, колес, шаров для мельниц, тормозных колодок.

Серые чугуны

- Серыми называют чугуны, в которых большая часть углерода находится в свободном состоянии в виде графита пластинчатой формы. Излом такого чугуна из-за наличия графита имеет серый цвет.
- Серый чугун это сплав железа, кремния (от 1,2- 3,5 %) и углерода, содержащий также постоянные примеси Mn, P, S.
- Являются одним из основных машиностроительных материалов.
- Имеют хорошую демпфирующую (звуко- и вибропоглощающую) способность, высокие антифрикционные свойства.

- По виду металлической основы различают:
 - ферритный чугун со структурой «феррит+графит» и количеством связанного углерода менее 0,025% (рис. 2а);
 - ферритно-перлитный чугун со структурой «феррит+перлит+графит» и количеством связанного углерода от 0,025 до 0,8% (рис.2б);
 - перлитный чугун со структурой «перлит+графит» и количеством связанного углерода 0,8% (рис.2в).



Серый чугун



Включения графита имеют форму пластин



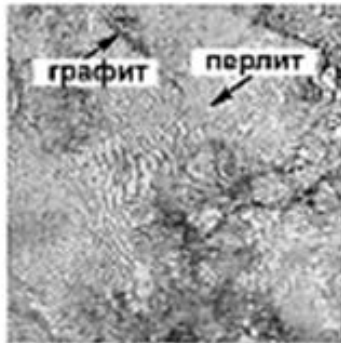
Некравленый шлиф

Получению серого чугуна способствуют:

- повышенное содержания кремния;
- медленное охлаждение.

Химический состав:

2,9-3,7% C, 1,2-2,6%Si, 0,5-1,1%Mn



Серый перлитный



Серый феррито-перлитный



Серый ферритный

СЧ20
↑ — Предел прочности на разрыв (200 МПа)
↑ — Серый чугун

Применяется серый чугун для изготовления слабонагруженных деталей, работающих в легких условиях. Например, корпуса редукторов, насосов, электродвигателей, различные крышки, отопительные батареи и т.п.

Механические свойства серых чугунов

Чугун	σ_b , МПа	НВ	Структура металлической основы
Сч15	150	163—229	Феррит
Сч25	250	180—250	Феррит + перлит
Сч40	400	207—285	Перлит
Сч45	450	229—289	»

КОВКИЙ ЧУГУН

- Ковкими называют чугуны, в которых графит имеет хлопьевидную форму.

По структуре металлической основы ковкие чугуны бывают

- ферритными,
- Феррито-перлитными
- перлитными.

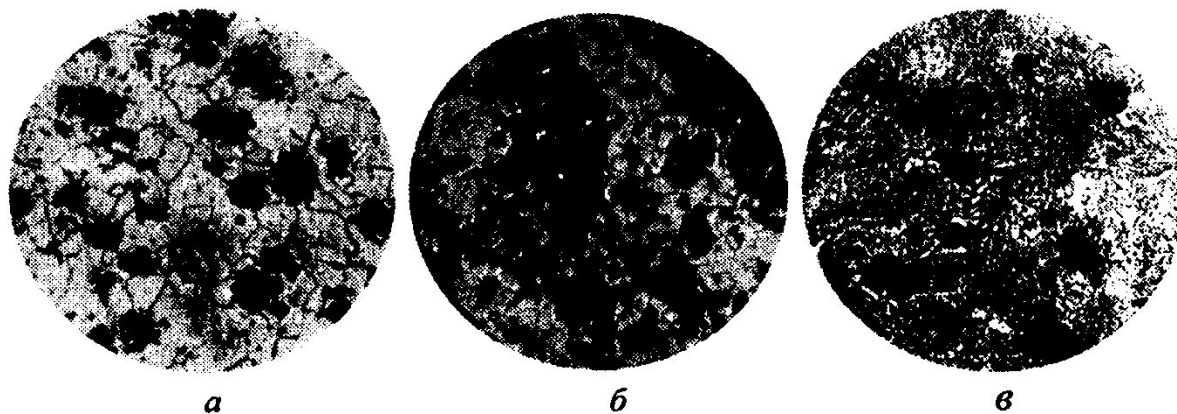
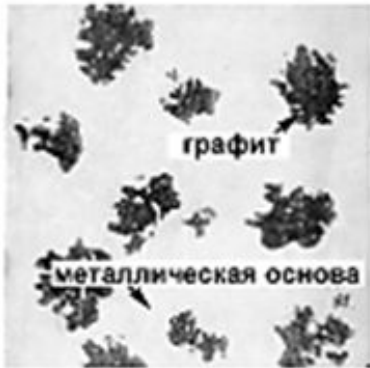


Рис. 4.11. Микроструктуры ковких чугунов, $\times 200$:
a — ферритный ковкий чугун, *б* — феррито-перлитный ковкий чугун, *в* — перлитный ковкий чугун

Ковкий чугун



Включения графита имеют хлопьевидную форму

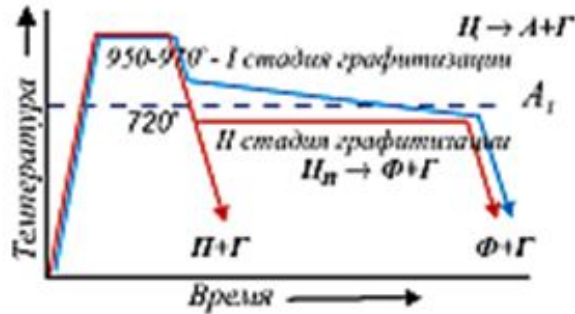


графит

металлическая основа

Петравленый штифт

Ковкий чугун получают путем отжига белого чугуна, содержащего 2,4-2,9% C, 1,0-1,6%Si, 0,2-1,0%Mn



Ковкий перлитный

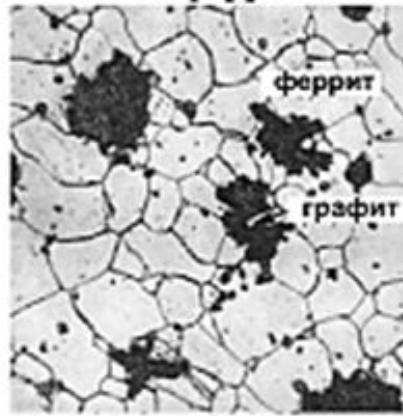


перлит

графит

феррит

Ковкий ферритный



феррит

графит

Маркировка ковких чугунов

КЧ 50-5 ← Относительное удлинение (5%)

← Предел прочности на разрыв (500 МПа)

← Ковкий чугун

Ковкий чугун получают длительным отжигом белого чугуна, в результате которого образуется графит хлопьевидной формы. Ковкий чугун имеет повышенную пластичность и вязкость. Ковкий чугун обладает повышенной прочностью при растяжении и высоким сопротивлением удару. Из ковкого чугуна изготавливают детали сложной формы: картеры заднего моста автомобилей, тормозные колодки, тройники, угольники и т. д.

Механические свойства ковких чугунов

Чугун	σ_b , МПа	δ , %	НВ	Структура металлической основы
Кч30-6	300	6	100—163	Феррит + 10—3% перлита
Кч37-12	370	12	110—163	»
Кч60-3	600	3	200—269	Перлит + 20—0% феррита
Кч80-1,5	800	1,5	270—320	»

Высокопрочный чугун

- Высокопрочными называют чугуны, в которых графит имеет шаровидную форму. Их получают путём модифицирования магнием.
- По структуре металлической основы высокопрочный чугун может быть:
 - ферритным;
 - ферритно-перлитным;
 - перлитным.

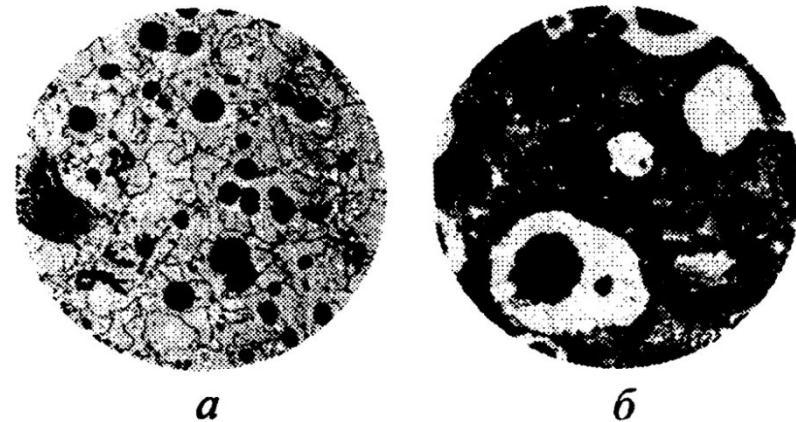


Рис. 4.10. Микроструктуры высокопрочных чугунов, $\times 100$:

a — высокопрочный чугун на ферритной основе;
б — высокопрочный чугун на феррито-перлитной основе

Высокопрочный чугун,

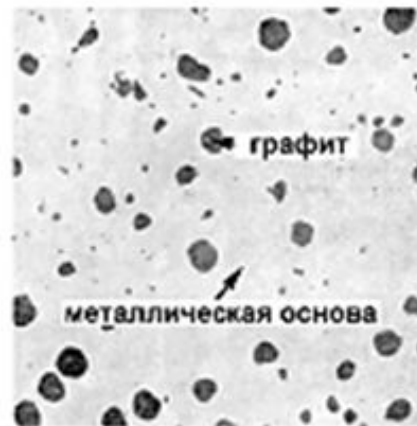
- **Высокопрочный чугун** имеет в своей структуре шаровидный графит, который образуется в процессе кристаллизации. Шаровидный графит ослабляет металлическую основу не так сильно как пластинчатый, и не является концентратором напряжений.

Включения графита имеют шаровидную форму

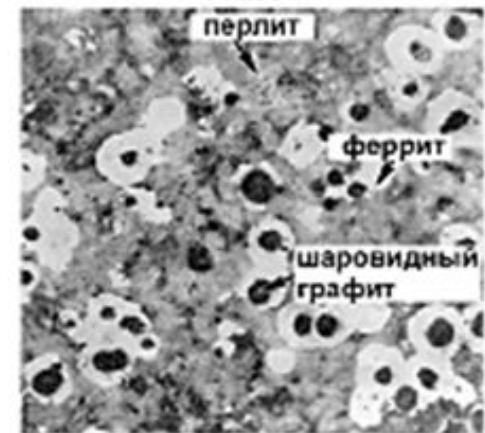
Высокопрочный чугун получают путем модифицирования чугуна магнием или церием.

Химический состав: 3.0-4.0% C, 2.5-3.8%Si,
0.2-0.7%Mn, 0.02-0.08%Mg, <0.02%S, <0.1%P

Нетравленный шлиф



Феррито-перлитная основа



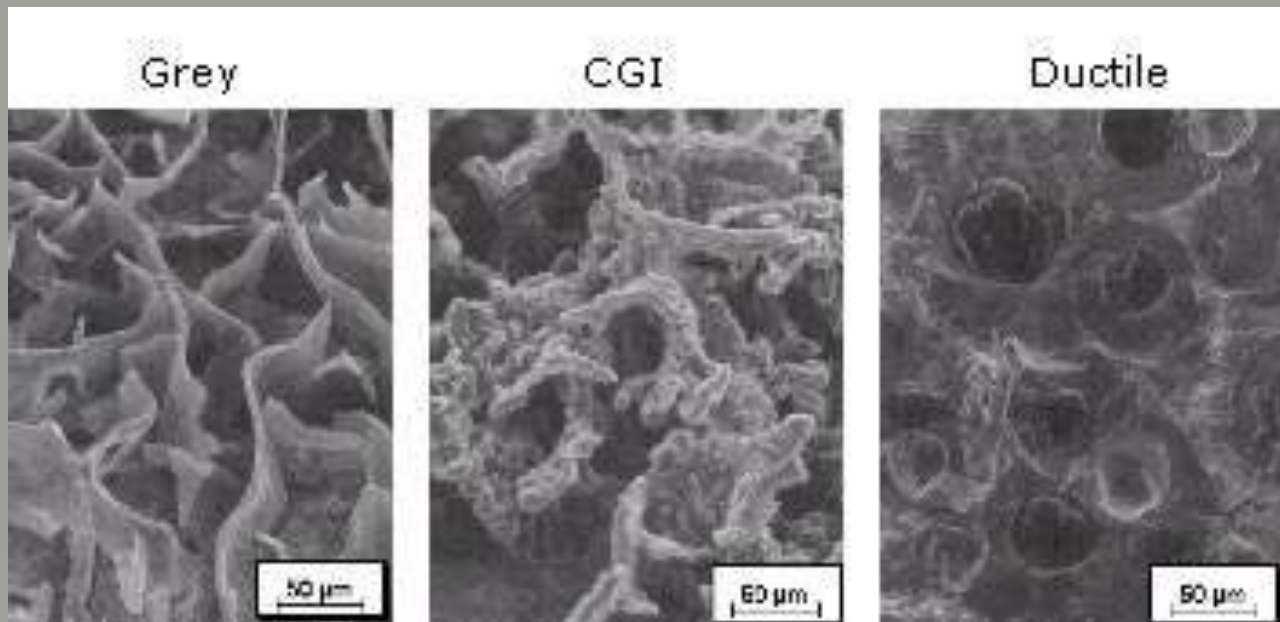
Маркировка высокопрочных чугунов

ВЧ 45

↑ ← Предел прочности на разрыв (450 МПа)
↑ ← Высокопрочный чугун

Чугун с вермикулярным графитом

Вермикулярный графит (лат. *vermiculus* — червячок) — микроструктурная составляющая чугуна, носящего название чугуна с вермикулярным графитом (ЧВГ). Червеобразная форма вермикулярного графита определяется обработкой жидкого чугуна активными модификаторами Mg, Ca, Ce и других, и условиями кристаллизации.



Маркировка: ЧВГ 45 (450 МПа) включает в себя цифровое обозначение минимального значения временному сопротивлению разрыву при растяжении, в $\text{МПа} \cdot 10^{-1}$

Область применения чугуна

- Чугун широко используется при производстве изделий различного назначения. Главные качества чугуна – дешевизна, хорошие литейные качества, прочность и твёрдость.
- Чугун используется там, где необходимо получить детали сложной формы и достаточной прочности. Например – станины станков, корпусные детали или художественные чугунные ограды.
- В автомобильной промышленности из чугуна получают блоки цилиндров двигателей внутреннего сгорания (на современном производстве используют чугун с вермикулярным графитом), а также коленчатые валы дизельных двигателей.